Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

# مواد پیشرفته

## جلسه سیزدهم

## ( کامپوزیت های لایه ای )

دکتر رضا اسلامی فارسانی

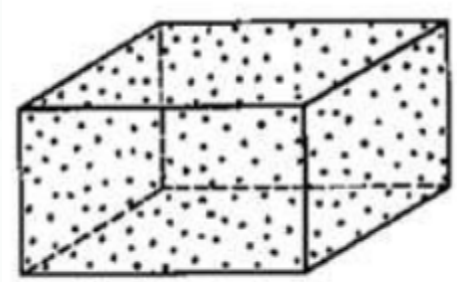
# کامپوزیت های لایه ای

## فهرست مطالب

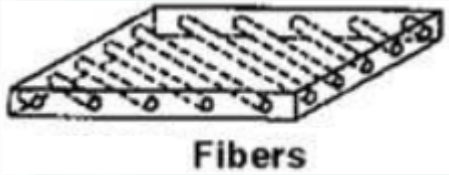
- دسته بندی مواد کامپوزیتی
- انواع کامپوزیت های لایه ای
- ساندویچ پانل ها - معرفی، کاربرد و مزایا
- FML - معرفی، کاربرد و مزایا
- معرفی گریدهای تجاری FML

# کامپوزیت های لایه ای

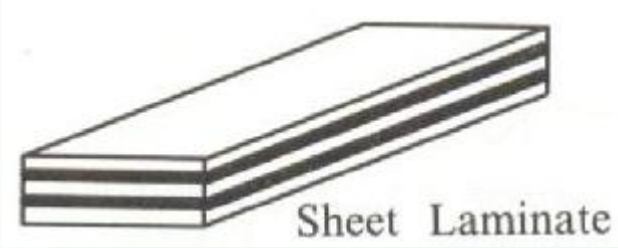
**دسته بندی مواد کامپوزیتی براساس هندسه فاز تقویت کننده**




- کامپوزیت های تقویت شده با ذرات



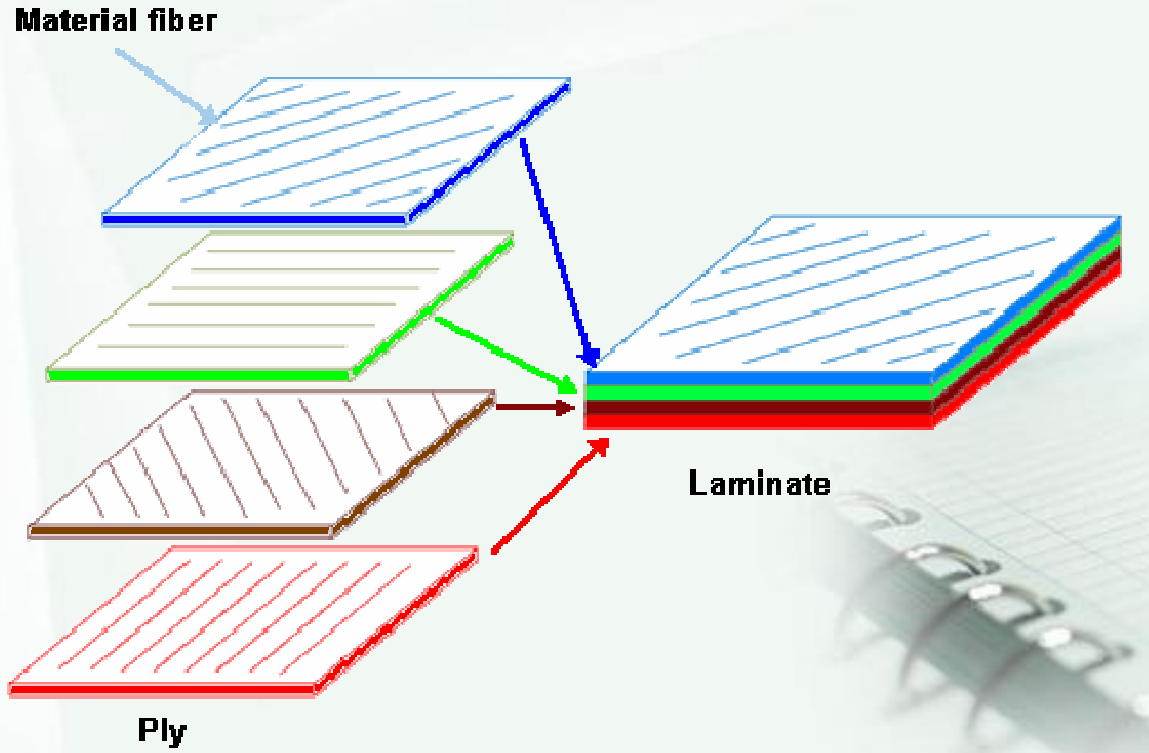

- کامپوزیت های تقویت شده با الیاف




- کامپوزیت های لایه ای

## کامپوزیت های لایه ای

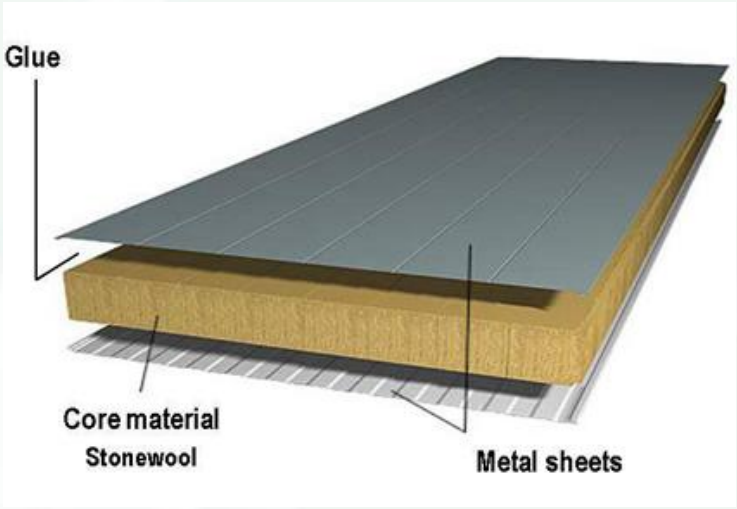
- کامپوزیت های لایه ای از روی هم قرار گرفتن و اتصال لایه های فلزی، کامپوزیتی، پلیمری، چوب، شیشه و ... ساخته می شوند.



# کامپوزیت های لایه ای

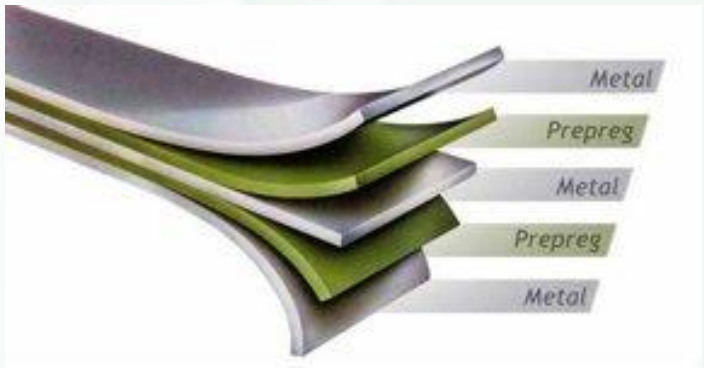
## انواع کامپوزیت های لایه ای

کامپوزیت های لایه ای به دو گروه طبقه بندی می شوند:




- ساندویچ پانل ها
  ***Sandwich Panels***

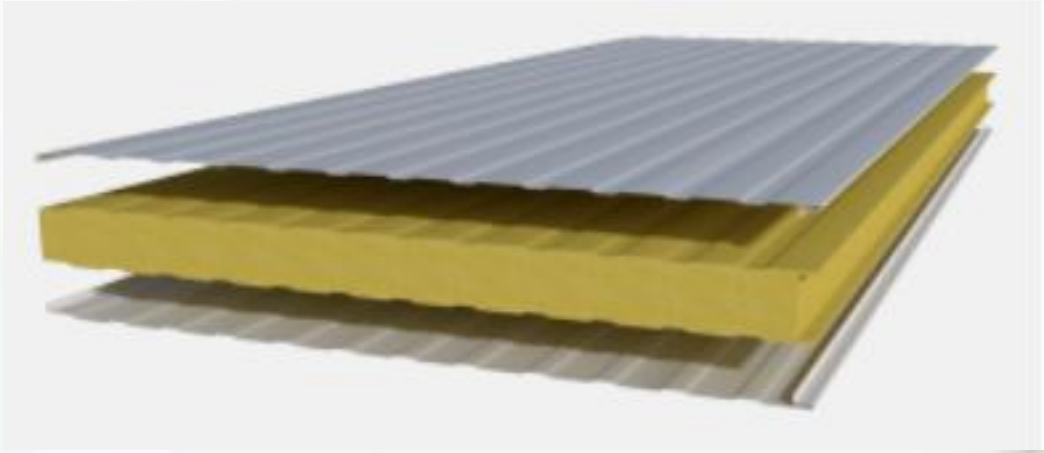
- کامپوزیت های چند لایه (لایه های الیاف- فلز)
  ***Fiber Metal Laminates- FMLs***



# کامپوزیت های لایه ای

## ساندویچ پانل ها

ساندویچ پانل ها از جمله کامپوزیت های لایه ای مرکب محسوب می شوند که در میان لایه های فلزی، یک هسته عایق و سبک قرار دارد. معمولا این عایق نرم و انعطاف‌پذیر است و از موادی مانند پلی اورتان، پلی استایرن، پشم سنگ، پشم شیشه، فوم و حتی مقوا تولید می‌شوند.



## کاربردهای ساندویچ پانل ها

ساندویچ پانل ها کاربردهای گوناگونی در صنایع مختلف دارند.

برخی از این کاربردها عبارتند از:

ساخت کانکس، کانتینر، خانه پیش ساخته، کمپ های اسکان موقت، سوله، سازه فلزی، سازه فضایی، ساختمان های اداری و تجاری و کلیه سازه ها و ساختمان ها با کاربردهای گوناگون.

# کامپوزیت های لایه ای

## مزایای ساندویچ پنل ها

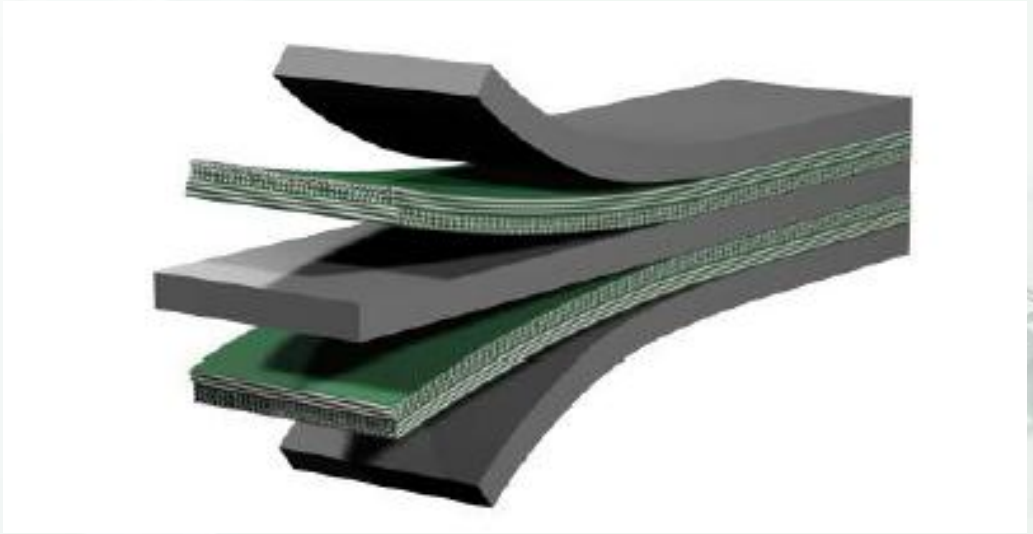
مزایا و ویژگی های استفاده از ساندویچ پانل ها عبارتند از:

- قابلیت کاهش انتقال حرارت
- قابلیت کاهش انتقال صوت
- قابلیت کاهش انتقال رطوبت
- قابلیت اشتعال بسیار پایین
- قابلیت استفاده مجدد در پروژه های دیگر

# کامپوزیت های لایه ای

## کامپوزیت های چند لایه الیاف- فلز

- FML ساختاری متشکل از لایه های نازک فلزی است که مابین آنها یک کامپوزیت زمینه پلیمری تقویت شده قرار گرفته است.
- ترکیب لایه های فلزی با یک رزین مستحکم شده منجر به تولید موادی با خواص منحصر به فرد می شود.



# کامپوزیت های لایه ای

## تاریخچه FMLs



- ساختارهای لایه ای برای اولین بار در سال 1945 در شرکت تولید کننده فوکر مورد استفاده قرارگرفتند. آنها ساختار لایه ای را با استفاده از ورق های آلومینیوم و یک بایندر برای استفاده در فوکر F-27 ساختند.
- گام بعدی پیشرفت در کامپوزیت های لایه ای، استفاده از مواد کامپوزیتی در بین لایه های ورق آلومینیوم بود و محققان دریافتند این ساختار به دلیل ماهیت لایه ای مقاومت بسیار بالایی نسبت به رشد ترک دارد.
- در سال 1978 کامپوزیت های لایه ای که با الیاف آرامید و کربن مستحکم شده بودند، ساخته شدند.
- در ادامه در سال 1987 کامپوزیت های لایه ای با لایه های آلومینیوم و فایبرگلاس ساخته شدند.

# کامپوزیت های لایه ای



برای ساخت یک کامپوزیت لایه ای موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

- ساختارِ از لایه های متوالی و موازی از فلزات و کامپوزیت تشکیل می شود که الزاما ضخامت یکسانی ندارند.
- ضخامت لایه ها باید بسیار کوچکتر از عرض و پهنای آن ها باشد.
- شرایط تنشی برای این قطعات به صورت تنش صفحه ای است و از کرنش در راستای ضخامت صرف نظر می شود.

# کامپوزیت های لایه ای

## مزایای FML

- طول عمر خستگی بالا
- مقاومت به رطوبت بالا: در این ساختارها حتی در شرایط سخت نسبت به کامپوزیت های پلیمری، به دلیل لایه های خارجی فلزی، رطوبت کمتری جذب می شود. همچنین لایه های مابین لایه های فلزی در داخل FML به عنوان حامل رطوبت رفتار می کنند.
- مقاومت به خوردگی بالا: به دلیل جذب رطوبت پایین و به دلیل مقاومت به خوردگی پلیمرها در مجموع مقاومت به خوردگی بالایی از خود نشان می دهند.
- وزن پایین
- استحکام ویژه بالا

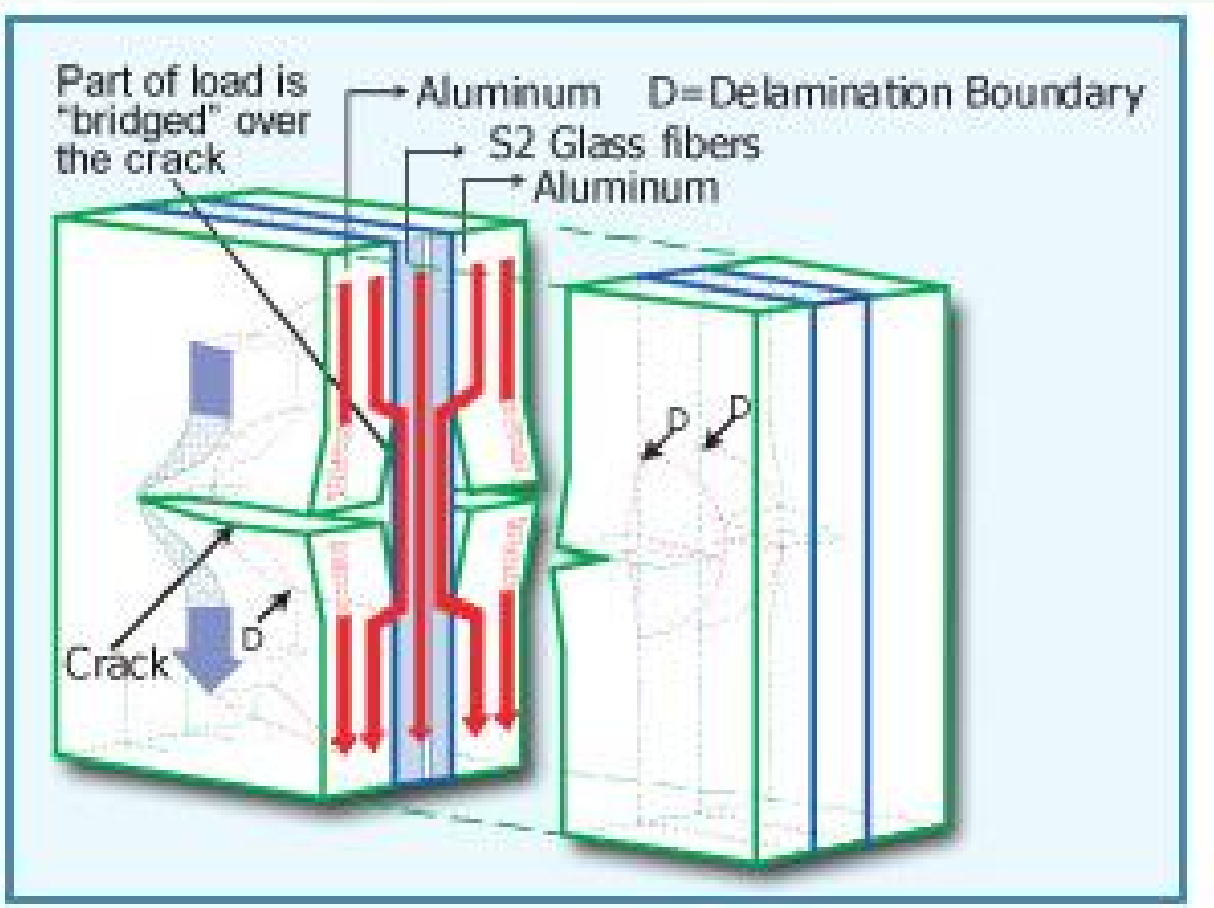
# کامپوزیت های لایه ای



## مزایای FML

- تحلیل کمتر مواد: FML به دلیل مقاومت در برابر رطوبت و خوردگی نسبت به آلیاژهای فلزی و یا ساختارهای کامپوزیتی، پایدارترند و دیرتر دچار تغییر و تحول می شوند.
- قابلیت تولید: امکان ساخت اشکال پیچیده با استفاده از ماشین کاری
- مقاومت به رشد ترک: شکل ساختمانی لایه لایه این مواد از رشد ترک در آنها جلوگیری می کند و جلوی تورق را می گیرد.
- صرفه اقتصادی
- ایمنی: نقطه ذوب بالا در FML مانع از نفوذ شعله آتش به لایه های درونی می شود و لذا در بدنه هواپیما مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا زمان لازم را به مسافران برای تخلیه هواپیما در زمان آتش سوزی می دهد.

# کامپوزیت های لایه ای




نحوه رشد ترک در یک ساختار لایه ای

# کامپوزیت های لایه ای

## کاربرد FML



مجموعه خواص منحصر به فرد این مواد، آنها را برای کاربرد در صنایع حساس کاندید می کند. مهمترین کاربرد های FMLs عبارتند از:

- کاربردهای ساختمانی
- صنایع فضایی
- صنایع هوایی
- صنایع دریایی
- خودروسازی

# کامپوزیت های لایه ای

## انواع الیاف مورد استفاده در FML

مهمترین انواع الیاف مورداستفاده در ساخت FML عبارتند از:

- آرامید
- الیاف شیشه
- الیاف کربن
- الیاف کاربید سیلیسیم
- مواد آلی

# کامپوزیت های لایه ای

## انواع رزین های مورد استفاده در FML

مهمترین رزین هایی که در ساخت FML مورد استفاده قرار می گیرند، عبارتند از:

- Epoxy
- Bismaleide
- Phenolics
- Cyanate esters
- ترموپلاستیک ها نظیر Polyethylenimine (PEI) و Polyether ether ketone (PEEK)

## ویژگی های رزین های مورد استفاده در FML

به صورت کلی رزین های مورد استفاده باید ویژگی های زیر را داشته باشند:

- مقاومت به تنش برشی مطلوب
- چقرمگی بالا
- قابلیت اتصال خوب با الیاف و ورق های فلزی
- جذب رطوبت پایین

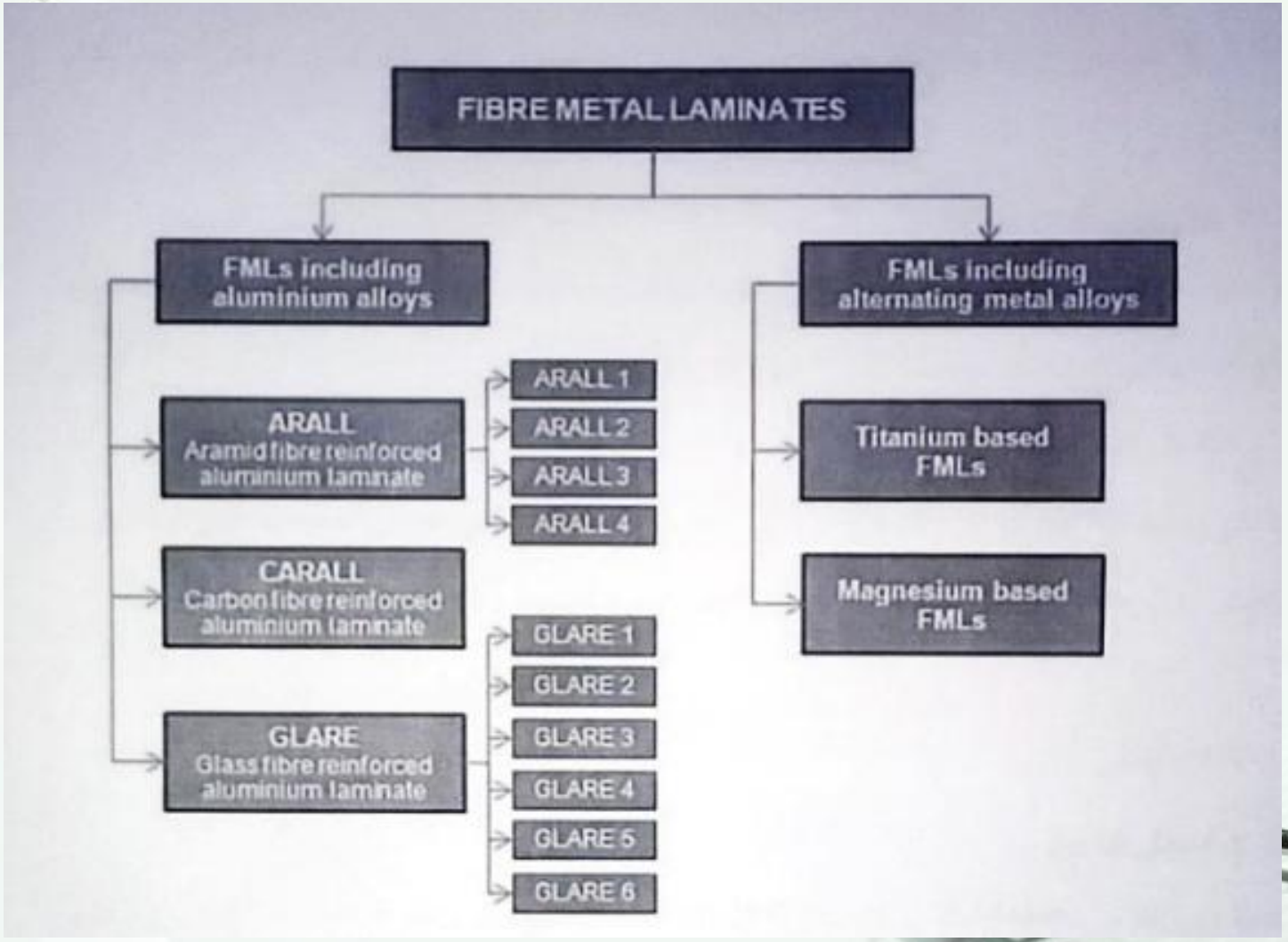
# کامپوزیت های لایه ای

## معرفی فلزات پایه مورد استفاده در FML

مهمترین فلزاتی که در ساخت FML مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از:

- آلومینیوم
- تیتانیم
- منیزیم
- فولاد کربنی ساده و فولاد های زنگ نزن
- نایوبیم
- گروهی از آلیاژهای آهن و کبالت

# کامپوزیت های لایه ای




طبقه بندی مهمترین کامپوزیت های لایه ای براساس نوع فلز پایه

# کامپوزیت های لایه ای

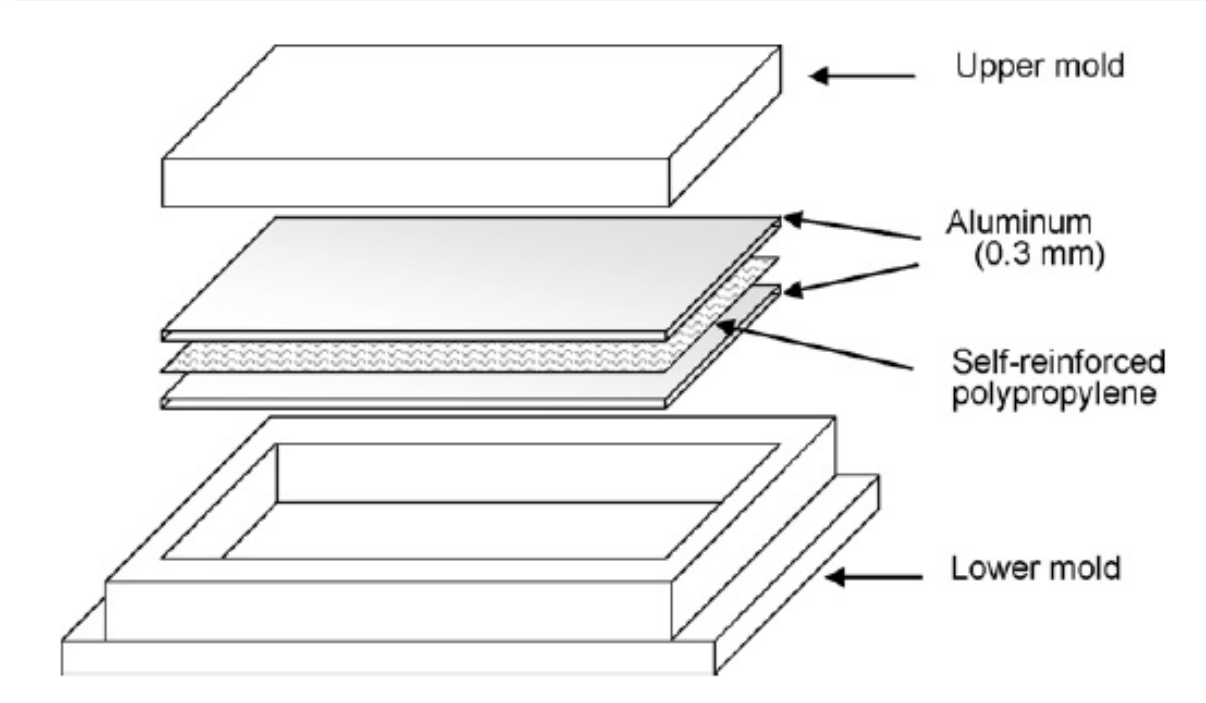


## FMLهای آلومینیومی

- به دلیل چگالی پایین، استحکام ویژه بالا و چقرمگی مطلوب، آلومینیوم به عنوان اولین فلز مورد استفاده در ساخت کامپوزیت های لایه ای مورد توجه قرار گرفت.
- کامپوزیت های لایه ای آلومینیومی در قسمت های مختلف هواپیما از قبیل قسمت های بالایی و پایینی بال، دماغه، بدنه و اسکلت هواپیما استفاده می شوند.
- در صنعت خودروسازی و ساختمانی نیز کامپوزیت های لایه ای آلومینیومی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند.

# کامپوزیت های لایه ای

## FML آلومینیومی




شماتیکی از ساختار یک FML آلومینیومی

# کامپوزیت های لایه ای

## FML تیتانیمی

- کامپوزیت های لایه ای تیتانیمی ترکیبی از صلبیت بالا، استحکام تسلیم بالا، مقاومت به خستگی و ضربه خوب در دمای پایین و بالا را دارند. تیتانیم تقویت شده با الیاف کربنی به خوبی قابلیت کار کردن تا دمای 300 °C را دارد.
- چگالی پایین، خواص مکانیکی و حرارتی بالا و قابلیت تولید نسبتاً آسان، این فلز را به عنوان یک کاندید مناسب برای کاربردهای فضایی قرار داده است.
- تیتانیم خالص و Ti-6Al-4V مهمترین گریدهای مورد استفاده در ساخت کامپوزیت های لایه ای هستند.

# کامپوزیت های لایه ای

## FML فولادی

25

- استفاده از از کامپوزیت های ترکیبی با لایه های فولادی در صنایع کشتی سازی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این مواد دارای مجموعه ای از خواص مطلوب مربوط به فولادهای کربنی ساده و مواد کامپوزیتی مورد استفاده در این صنعت می باشند.
- نسبت به فولادهای کربنی ساده سبک ترند و می توان از آنها خواص ایزوتروپ و یا آنیزوتروپ دریافت کرد.
- به علت ساختار لایه لایه خواص خستگی بالاتری دارند. همچنین خوردگی فقط محدود به لایه خارجی می شود و با رسیدن به لایه کامپوزیت کنترل می شود و مقاومت به ضربه بهتری نسبت به مواد کامپوزیتی مرسوم دارند.

# کامپوزیت های لایه ای

## FML فولادی



- پلیمر موجود در ساختار آنها که بین لایه های فلزی قرار گرفته است مقاومت به آتش گرفتن و قابلیت دمپ صوت به این ساختارها داده است. لایه خارجی فولادی باعث بهبود مقاومت به ضربه می شود و همچنین لایه کامپوزیت داخلی را محافظت کرده و از مرطوب شدن و تورم آن جلوگیری می کند. لایه کامپوزیتی داخلی نیز از رشد ترک و تورق ماده ممانعت می کند.
- FML فولادی (فولادهای سیلیسیمی و آلیاژهای آهن و کبالت) همچنین در ساخت هسته های مغناطیسی روتورها و استاتورها در ماشین های الکتریکی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند.

## معرفی گریدهای تجاری FML

معروف ترین گرید های تجاری FML عبارتند از:

- **ARALL**: Aramid Reinforced Aluminum Laminate
- **GLARE**: Glass Laminate Aluminum Reinforced Epoxy
- **CARAL**: Carbon Reinforced Aluminum Laminate

# کامپوزیت های لایه ای

## ARALL

28

- ARALL یک کامپوزیت ترکیبی از کنار هم قرار گرفتن ورق های با استحکام بالا از آلیاژهای آلومینیوم و الیاف آرامید می باشد.
- آلومینیوم برای این ساختار استحکام و ویژگی های فلزی ایزوتروپ ایجاد می کند و در مقابل الیاف آرامید مقاومت به شکست و خستگی را در ساختار بالا می برد.
- ARALL برای اولین بار در سال 2007 در ساخت پوسته هواپیمای ایرباس 380 مورد استفاده قرار گرفت.

# کامپوزیت های لایه ای

## انواع کامپوزیت های لایه ای ARALL

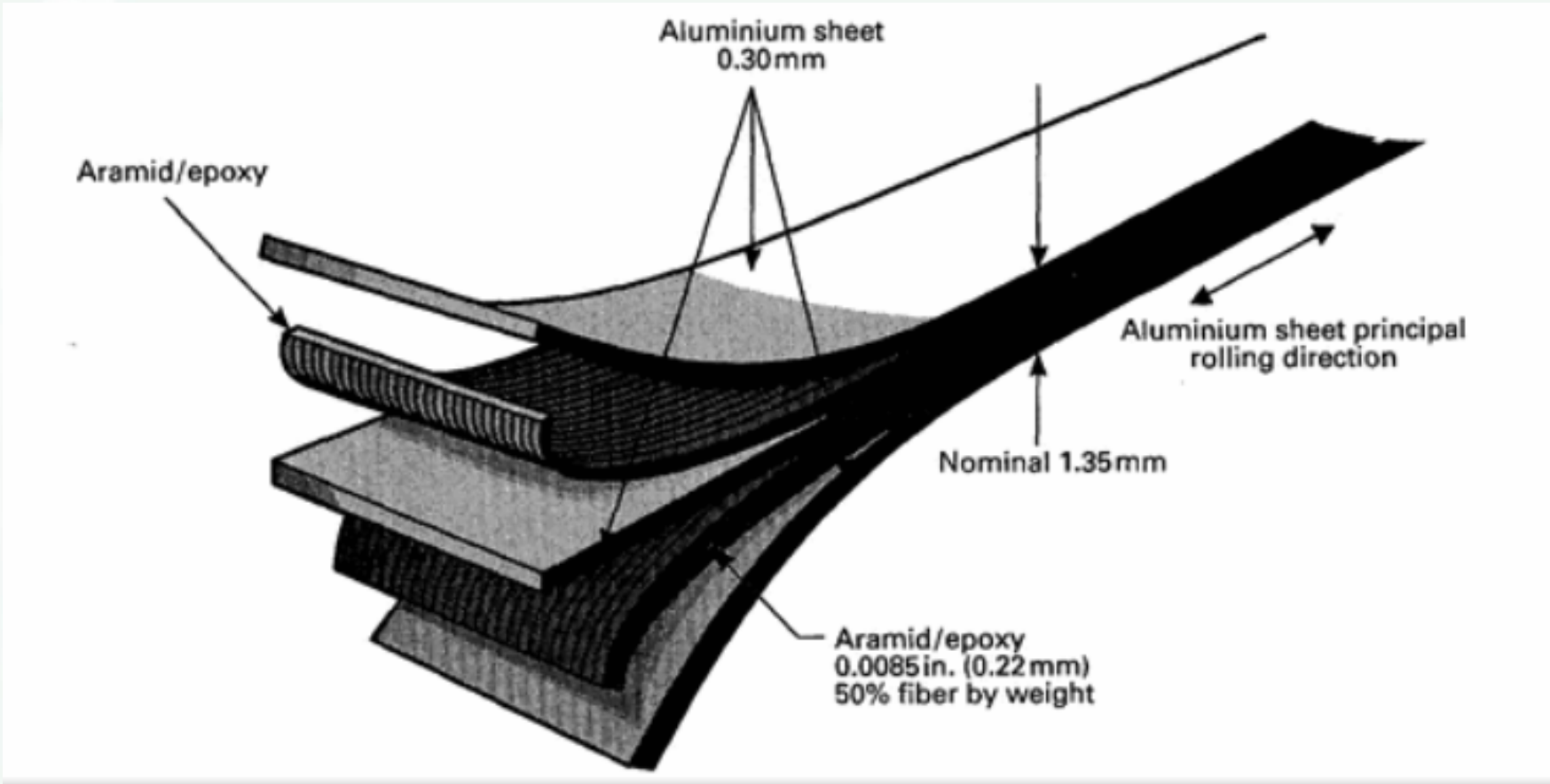
Commercially available ARALL laminates [89].

| | Metal type | Metal thickness (mm) | Fibre layer (mm) | Fibre direction (°) | Characteristics |
|---|---|---|---|---|---|
| ARALL 1 | 7075-T6 | 0.3 | 0.22 | 0/0 | Fatigue, strength |
| ARALL 2 | 2024-T3 | 0.3 | 0.22 | 0/0 | Fatigue, formability |
| ARALL 3 | 7475-T76 | 0.3 | 0.22 | 0/0 | Fatigue, strength, exfoliation |
| ARALL 4 | 2024-T8 | 0.3 | 0.22 | 0/0 | Fatigue, elevated temperature |

# کامپوزیت های لایه ای

## ARALL

30



# کامپوزیت های لایه ای

## مشخصات عمومی کامپوزیت های ARALL

Production parameters of ARALL laminates [86].

| | Metal type | Cure resin | Cure temp. | Stretching | Characteristics |
|---|---|---|---|---|---|
| ARALL 1 | 7075-T6 | AF-163-2 | 120 °C | 0.4% permanent stretch | Superior fatigue resistance<br>High strength |
| ARALL 2 | 2024-T3 | AF-163-2 | 120 °C | With or without 0.4% stretch | Excellent fatigue resistance<br>Increased formability<br>Damage tolerant |
| ARALL 3 | 7475-T76 | AF-163-2 | 120 °C | 0.4% permanent stretch | Superior fatigue resistance<br>Controlled toughness |
| ARALL 4 | 2024-T8 | AF-191 | 175 °C | With or without 0.4% stretch | Excellent fatigue resistance<br>Increased elevated Temperature properties |

# کامپوزیت های لایه ای

## GLARE

32

- GLARE یک پوسته چند لایه از آلومینیم و فایبرگلاس قوی بوده و ماده ای بسیار قوی و مقاوم در برابر زنگ زدن و آتش سوزی است و رطوبت را در خود جذب می کند.
- GLARE ابتدا برای کاربردهای هوانوردی در سال 1990 با الیاف شیشه در هلند ساخته شد.
- چگالی GLARE به مقدار 10 درصد از آلومینیم کمتر است که این امر کاهش قابل ملاحظه ای در وزن هواپیما داشته است. از ماده GLARE در ساخت قسمت های فوقانی تکه ابتدایی و انتهایی بدنه هواپیما استفاده شده است.
- GLARE برای کار در دماهای پایین طراحی شده و در بهترین حالت حداکثر تا دمای $180\ ^{o}C$ قابلیت کاربرد دارد.
- بزرگترین تفاوت GLARE و ARALL در نوع الیاف آنهاست .

# کامپوزیت های لایه ای

## انواع کامپوزیت های لایه ای GLARE

| Glare grade | sub | Metal sheet thickness [mm] & alloy | Prepreg orientation* in each fibre layer** | Main beneficial characteristics |
|---|---|---|---|---|
| Glare1 | - | 0.3-0.4 7475-T761 | 0/0 | fatigue, strength, yield stress |
| Glare 2 | Glare 2A | 0.2–0.5 2024-T3 | 0/0 | fatigue, strength |
| | Glare 2B | 0.2-0.5 2024-T3 | 90/90 | fatigue, strength |
| Glare 3 | - | 0.2-0.5 2024-T3 | 0/90 | fatigue, impact |
| Glare 4 | Glare 4A | 0.2-0.5 2024-T3 | 0/90/0 | fatigue, strength in 0° direction |
| | Glare 4B | 0.2-0.5 2024-T3 | 90/0/90 | fatigue, strength in 90° direction |
| Glare 5 | - | 0.2-0.5 2024-T3 | 0/90/90/0 | impact |
| Glare 6 | Glare 6A | 0.2-0.5 2024-T3 | +45/-45 | shear, off-axis properties |
| | Glare 6B | 0.2-0.5 2024-T3 | -45/+45 | shear, off-axis properties |

# کامپوزیت های لایه ای

## CARALL



- CARALL کامپوزیت مرکب تقویت شده با الیاف کربنی است.
- CARALL مدول بالایی دارد، ولی در مقایسه با ARALL تنش و کرنش کمتری را می تواند تحمل کند و همچنین مقاومت به خستگی کمتری دارد.
- CARALL در ساخت اجزاء مختلف هواپیما مورد استفاده قرار می گیرد.

# کامپوزیت های لایه ای

## نمونه کاربرد FML در بخش هایی از هواپیمای ایرباس 380